

Kútkörzet diagnosztika vízkiszorítással művelt olajtelepeknél

Dr. Tóth János^{*}, Dr. Bódi Tibor^{*}, Dr. Szűcs Péter^{**}, Civan Faruk^{***}

^{*}Miskolci Egyetem Alkalmazott Kémiai Kutatóintézet

^{**}Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet

^{***}University of Oklahoma, U.S.A.

Bevezetés

A világ olajtermelésének jelentős hányada vízkiszorítással művelt olajtelepekből származik. Ennek oka az, hogy víz gazdaságosan alkalmazható, nagy mennyiségben áll rendelkezésre (részben az olajjal együtt termeljük ki), a kiszorítási, térfogati hatásfoka elfogadható nagyságú, nem igényel költséges előkészítést, az alkalmazott technológia környezetkímélő. A vízkiszorítás folyamatának irányítása szükségessé teszi annak folyamatos ellenőrzését. Az ellenőrzés egyik lehetséges módja, meghatározott termelési múlt után, a kiszorítási folyamat kútkörzetenkénti diagnosztizálása, a kútkörzetek működésének vizsgálata.

Ismeretes, hogy a vízkiszorítással történő olajtermelés jelenleg 30-40%-s hatásfoka, a szénhidrogének iránti igények növekedése miatt, a jövőben mindenképpen növelendő. Az

olajkiszorítás hatásfokának növelése érdekében, meg kell ismerni a kút gyűjtőterületének rezervoármechanikai tulajdonságát, a kútkörüli zóna viselkedését, hogy ismereteinket a később alkalmazni kívánt EOR eljárások tervezéséhez, irányításához felhasználhassuk.

A kutak körüli tárolótér vizsgálatára különböző technikák alkalmazhatók. A geofizikai kútszelvényezési technikák a kút körüli tárolótér 0.5 -1.5 m sugarú henger alakú térfogatának *adott időpontra* jellemző vizsgálatára, diagnosztizálására alkalmazhatók. A kutak hidrodinamikai vizsgálatai (például: kapacitás és nyomáscsökkenési, nyomásemelkedési, interferencia vizsgálatok) a kút egész gyűjtőterületére adnak információt, azonban csak *néhány napos*, illetve *hetes* időintervallumban. Jogosan merül fel az igény olyan kútdiagnosztikai módszer/módszerek alkalmazására, amelyek az egész kútkörzetre kiterjednek, és figyelembe veszik a vizsgált kút teljes termeléstörténetét.

Véleményünk szerint, ha az adott kút termelési adataiból határozzuk meg a gyűjtőterület víz/olaj fázisokra vonatkozó paramétereit, akkor az, a tényleges, helyben lévő (in-situ) közet-fluidum és áramlási rendszerre vonatkozik, azaz minden olyan hatás együttesére, amely ezeket a paramétereket adott telepviszonyokon befolyásolja.

A kútkörzet diagnosztizálására, illetve egyes részfeladatok megoldására a szakirodalom számos módszert [1, 2, 3, 4, 5, 6] ismertet, azok alkalmazhatók. A kútkörzet diagnosztika elsődleges feladata a vízkiszorítással művelt telepek, illetve kútkörzetek olajkihozatalának meghatározása [7, 8]. A kút termelési és VOV adatait felhasználva lehetőség van az olaj/víz

relatív permeabilitás-arány meghatározására is. A termelési múlt illesztést befolyásoló paraméterek (mobilis fluidum pórustere, mobilitás arány, gravitációs szám, relatív permeabilitás függvények kitevői) érzékenységét vizsgálja a [9] irodalom. A [10, 11, 12] irodalom az oldott gázos olaj kiszorítású kútkörzetre, a kútvizsgálati adatok alapján meghatározható paramétereket mutat be. A vízkiszorítás felülegelete, ill. a monitoring rendszere [13, 14] szintén fontos területe a kútkörzet diagnosztika problémakörének.

Jelen előadás szerzői korábbi publikációikban [15, 16, 17] bemutatták az általuk kifejlesztett mérési módszert és számítási eljárást, amely bizonyítottan jól alkalmazható a fűrómagokból kiképzett, nagyméretű kőzetmagokon radiális rendszerben végrehajtott nem állandósult (unsteady-state) vízkiszorítási vizsgálatok folyamatának analitikus leírására, az úgynevezett kiszorítási egyenletek felírására. A szerzők [18] tanulmányukban két magyarországi olajkút és az irodalomban Stiles [1] és Craig [6] által publikált kút adatok alapján bebizonyították, hogy számítási módszerük nem csak a laboratóriumban végzett kiszorítási kísérletek adatainak feldolgozását teszi lehetővé, hanem eredményesen alkalmazható olajkutak termelési adatainak feldolgozására is.

A szerzők jelen tanulmányukban 3 db. olajtermelő kút példáján keresztül bemutatják, hogy az általuk kidolgozott módszer széles körben alkalmazható a vízkiszorítással termelő olajmezők kútjainak, kútkörzeteinek diagnosztizálására. Módszerük segítséget nyújt a kútkörüli gyűjtőterület állapotának, a kút teljes termelési múltját figyelembe vevő felmérésére, a kútkörüli gyűjtőterület maradék olajtelítettségének, a vízelárasztás hatékonyságának

meghatározására. A kút teljes gyűjtőterületét és termelési múltját figyelembe vevő kútdiagnosztika eredményei alapot nyújtanak a kútból még kitermelhető olajmennyiség becslésére, illetve megalapozzák az olajtermelés folytatáshoz szükséges EOR/IOR eljárások bevezetésével kapcsolatos döntéseket.

1. A kút gyűjtőterület állapotfelmérése

A termelés egy adott időpontjában a kút aktuális gyűjtőterületének állapotát a kút körüli gyűjtőterületen kialakult telítettségi viszonyok határozzák meg. A kút termelése alatt a kitermelt olaj, víz, valamint a gyűjtőterületre beáramló víz mennyisége megváltoztatja a telítettségi viszonyokat. A kútkörzet kezdeti telítettségi viszonyainak (S_{wi} , S_{oi}), valamint az adott termelési állapotban érvényes telítettségi állapot (S_o , S_w) ismeretében a vízkiszorítás hatásfoka, E_{Rw} megadható. Meghatározva a vízkiszorítással elérhető maximális hatásfokot, $E_{Rw \max}$ a kút gyűjtőterületének becsült nagysága ismeretében eldönthető, hogy optimális esetben még mennyi olaj termelhető ki az adott gyűjtőterületről. Ezen információk birtokában eldönthető érdemes-e folytatni a kút termeltetését, illetve a kút gyűjtőterületének termeltetése még várhatóan mennyi időt vesz igénybe.

A kút körüli tárolórész telítettségi viszonyai és a tárolókőzet közettani felépítése, pórusszerkezete, az áramló fluidumok tulajdonságai egyértelműen meghatározzák a kútkörüli tér áramlási viszonyait, így az egyes áramló fázisokra vonatkozó úgynevezett fázisos áteresztőképességet, illetve a relatív permeabilitást is. Amennyiben a rendelkezésünkre állnak olyan kútkezelési eljárások, amelyek segítségével a kút körüli térrészben az áramló fluidumok mozgékonyasága, fázisos permeabilitása módosítható, ismervé a kút gyűjtőterületéről kútkezelés nélkül még kitermelhető olaj mennyiségét, eldönthető, hogy az adott kútkezelési eljárással elérhető előnyök, (kisebb víz-olaj viszony, várható többlet olajtermelés) indokolják e a kútkezelés végrehajtását. Mindezek eldöntéséhez a telítettségi viszonyok ismerete mellett célszerű meghatározni a kútkörzetre jellemző átlagos relatív permeabilitás görbét is.

A továbbiakban bemutatjuk azokat az összefüggéseket, amelyek segítségével a kút gyűjtőterület adott termelési időponthoz tartozó állapota felmérhető, azaz a telítettségi viszonyok, az aktuális, illetve a vízkiszorítással elérhető maximális kiszorítási határfok, valamint a gyűjtőterületre jellemző relatív permeabilitás görbék meghatározhatók. Az összefüggések levezetésénél feltételezzük, hogy kúthoz történő folyadékáramlás radiális rendszerű, és a kút a gyűjtőterület középpontjában helyezkedik el.

1.1 A kútkörzet radiális vízkiszorításának összefüggései

Az elméletileg megalapozott, majd laboratóriumi radiális áramlási rendszerű olaj/vízkiszorítási kísérletekkel alátámasztott összefüggések [15, 16, 17] alapján, a vízkiszorítással művelt olajtelep termelő olajkútjának termelési adataiból, valamint a kút gyűjtőterületének geometriai (**V, h, A, r_w, r_e**) és petrofizikai (**k_w, S_{wi}, B_o, B_w, μ_o, μ_w**) paramétereiből kiindulva alábbi összefüggések alkalmazhatók:

- c) A kút körzet kumulatív olaj- (N_p) és víztermelése (W_p), illetve mesterségesen besajtott, vagy természetes úton a kútkörzetbe beáramlott víz (W_i) kumulatív mennyisége telepállapoton a következőképpen írható fel:

$$N_p = \int_0^t B_o q_o dt \quad , \quad (1)$$

$$W_p = \int_0^t B_w q_w dt \quad , \quad (2)$$

$$W_i = \int_0^t q_{wi} dt \quad , \quad (3)$$

ahol

$$q_{wi} = B_o q_o + B_w q_w \quad . \quad (4)$$

A kétfázisú áramlásra jellemző úgynevezett kiszorítási egyenlet az alábbi formában alkalmazható:

$$\frac{W_i}{N_p} = a + b \frac{W_i}{V_p} \quad , \quad (5)$$

ahol V_p - a kútkörzet pórustérfogata $[= \pi h \phi (r_e^2 - r_w^2)]$,

a, b - kiszorítási egyenlet állandói (**$a < 1$ és $b > 1$**).

d) Az (5) egyenletet felhasználva a kút termelvényének vízhányada az alábbiak szerint határozható meg:

$$f_w = \frac{B_w q_w}{B_w q_w + B_o q_o} = 1 - \frac{a}{\left[a + b \frac{W_i}{V_p} \right]^2} , \quad (6)$$

- c) Ha vízkiszorítással művelt olajtelep átlagos rétegyomása a termelés alatt jó közelítéssel állandó, a termelő kút talpnyomása, azonosnak vett kútkiképzés és gyűjtési rendszer mellett, ugyancsak állandónak tekinthető, ezért olajkiszorítás állandó (Δp) depresszió mellett megy végbe. Ebben az esetben az olaj és a víz mozgékonyságának összege az alábbi összefüggéssel adható meg:

$$Y(S_w) = \frac{k_{rw}}{\mu_w} + \frac{k_{ro}}{\mu_o} = \frac{(q_o + q_w)^3}{4\pi h k \Delta p W_i \frac{d^2 W_i}{dt^2}} = \frac{a_1 b_1^2 t^{(b_1-1)}}{4\pi h k \Delta p (b_1 - 1)} , \quad (7)$$

ahol az *áramlási egyenlet*

$$W_i = a_1 t^{b_1} , \quad (8)$$

a_1, b_1 – termelési adatokból számított állandók, $b_1 \geq 1$.

- d) Ha a kútkörzetről a víz állandó beáramlási ütemmel (q_{wi} =állandó) szorítja ki az olajat, akkor a (7) összefüggés helyett az olaj és a víz mozgékonyságának összegére

$$Y(S_w) = -\frac{q_{wi}}{4\pi k h a_2 b_2 t^{b_2}} \quad , \quad (7a)$$

egyenletet kell használni, az *áramlási egyenlet* pedig, a következő alakú lesz

$$\Delta p = a_2 t^{b_2} \quad , \quad (8a)$$

ahol a_2, b_2 – termelési adatokból számított állandók, **b_2 negatív, azaz $b_2 < 0$** .

e) A relatív permeabilitás arányt az alábbi összefüggéssel írhatjuk fel

$$\frac{k_{rw}}{k_{ro}} = \frac{f_w \mu_w}{(1 - f_w) \mu_o} \quad , \quad (9)$$

ahol f_w - a termelvény telepkörülmények közötti vízhányada.

f) Az (1)–(9) egyenletek felhasználásával a víz- és az olaj relatív permeabilitása az alábbi összefüggésekkel határozható meg.

$$k_{rw} = f_w \mu_w Y(S_w) \quad , \quad (10)$$

$$k_{ro} = (1 - f_w) \mu_o Y(S_w) \quad . \quad (11)$$

g) A kút fakadó felszíne közelében a kőzet víztelítettsége [15] alapján:

$$S_w = S_{wi} + b \left[\frac{\frac{W_i}{V_p}}{a + b \frac{W_i}{V_p}} \right]^2 . \quad (12)$$

A fenti összefüggések használata feltételezi, hogy a kút kiképzés tökéletes, nincs kútkárosodás, azaz a szkin tényező nulla. Amennyiben ez nem áll fenn, akkor a (7) egyenlet nevezőjében lévő, illetve (8a) egyenletben szereplő Δp értéket a szkin miatti nyomásveszteséggel Δp_s korrigálni kell. A korrekciót az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg.

$$\Delta p = \Delta p_{mert} - \Delta p_s , \quad (13)$$

ahol

$$\Delta p_s = \frac{sq_o B_o \mu_o}{2\pi k h} . \quad (14)$$

h) A vízkiszorítás aktuális hatásfokának meghatározása az alábbi összefüggéssel lehetséges

$$E_{Rw} = \frac{N_p}{N} = \frac{(\bar{S}_w - S_{wi})B_{oi}}{(1 - S_{wi})B_o} = \frac{B_{oi} \Delta S_w}{(1 - S_{wi})B_o} . \quad (15)$$

A fenti kifejezésben az \bar{S}_w értékét az alábbi összefüggésből lehet meghatározni.

$$\bar{S}_w = S_{wi} + \frac{N_p B_o}{V_p} . \quad (16)$$

i) A vízkiszorítással elérhető maximális kiszorítási hatások az alábbi összefüggés alkalmazásával lehetséges

$$E_{Rw \max} = \frac{(\bar{S}_{w \max} - S_{wi}) B_{oi}}{(1 - S_{wi}) B_o} = \frac{B_{oi} \Delta S_{w \max}}{(1 - S_{wi}) B_o} , \quad (17)$$

ahol az átlagos maximális víztelítettséget a kiszorítási egyenlet **b** paraméterének felhasználásával az alábbi kifejezésből határozhatjuk meg

$$\bar{S}_{w \max} = S_{wi} + \frac{1}{b} . \quad (18)$$

2. Vízkiszorítással termelő olajkút-körzetek diagnosztizálása

Vízkiszorítással művelt olajtelepek kutjainak fent leírt diagnosztizálás metodikáját három magyarországi termelő kút (A-225, A-710, A-862 jelű kutak) példáján mutatjuk be, és

összefoglaljuk az eredményekből a gyakorlat számára levonható következtetéseket. A kutak, kútkörzetek paramétereit, a számításba vett termelési időtartam (t) alatt kitermelt olaj (N_p) és víz (W_i/V_p) kumulatív mennyiségét, a pillanatnyi vízhányadot (f_w) az olaj és víz paramétereit az 1. táblázatban mutatjuk be. A mai kor követelményét figyelembe véve ezeket a paramétereket, adatokat az úgynevezett termelési múlt adataiként minden termelő olajkútra, kútkörzetre ismerjük, ismerni kell.

2.1 Kiszorítási függvény meghatározása

A kútkörzetek diagnosztizálása alapvetően a termelési múlt, az adott kútkörzet olajtermelő kútjából a termelési idő alatt kitermelt kumulatív olaj- és víz mennyiség függvényén alapul. A kutak termelési adatait (olaj és víz) a termelési idő függvényében ismerjük a termelési múlt statisztikájából (1., 4., 7. ábrák). A megfelelő termelési időkhöz tartozó rétegnyomásoknál hozzárendelhető az olaj- (B_o) és a víz (B_w) teleptérfogat-tényezője és így az (1)-(5) egyenletekkel, ismert kútkörzet V_p pórustérfogatokkal (1. táblázat) felrajzolhatók az úgynevezett kiszorítási függvények: 2., 5., 8. ábrák. Ha a kútkörzet pórustérfogata még közelítőleg sem ismert, úgy a $W_i/N_p=f(W_i)$ függvényt kell felrajzolni, azaz a kumulatív belépett vízmennyiség (W_i) függvényében kell ábrázolni a kumulatív beáramlott vízmennyiség és a kumulatív kitermelt olajmennyiség arányát (W_i/N_p).

A következő lépésként a kiszorítási egyenlet vizsgálata céljából felrajzoljuk a (W_i/V_p) , vagy csak a W_i függvényében a

$$\frac{d(W_i / N_p)}{d(W_i / V_p)} = f(W_i / V_p) \quad , \quad \text{vagy} \quad \frac{d(W_i / N_p)}{d(W_i)} = f(W_i) \quad (19)$$

differentiálhányadost, (szigorúan véve differencia hányadost): 3.,6.,9. ábrák. Az (5) lineáris egyenlet csak homogén kútkörzetre érvényes és ekkor a differentiálhányados (differencia hányados) **(b)** az adatok szórása miatt csak közel állandó. Homogénnek vehető kútkörzet felépítés esetén a vízkiszorítás folyamatának primer fázisa a kútba történő vízbetörés pillanatában véget ér, és ez a kút teljes megnyitott rétegére fennáll. Ezt követően a teljes megnyitott rétegben a vízkiszorítás kétfázisú lesz, azaz a vízkiszorítás szekunder fázisa játszódik le.

Ha heterogén, két, vagy többretegű a kútkörzet, úgy a kiszorítási egyenlet két, vagy több lineáris szakaszból tevődik össze és ekkor az egyes lineáris szakaszok **b** tényezőit mutatja a differentiálhányados (differencia hányados). Két, vagy többretegűnek (ha a rétegek között keresztáramlást is van) vett kútkörzetben időben legelőbb a legjobb áteresztő-képességű rétegben következik be a vízátörés, majd időben az ezt követően a következő nagyobb permeabilitású rétegben és így tovább. Az adott kút termelvényében legelőször megjelenő vízmennyiség csak a legjobb rétegből lép be, a többi réteg továbbra is még tiszta olajat ad.

Majd a második rétegnél bekövetkező vízáttörés pillanatától az innen származó víz hozzá adódik az elsőként vizet termelő réteg víztermeléséhez, így növelve az egységnyi kitermelt olajtérfogatra eső vízmennyiséget (nő a $\Delta(W_i/N_p)/\Delta(W_i/V_p)$ hányados). Ha további, egyre rosszabb permeabilitású rétegek is vannak a kútkörzetben, úgy akkor az így leírt folyamat tovább tart. Végeredményben tehát két, vagy többréteges kútkörzetre a kiszorítási egyenlet két, vagy több egyenes szakaszból áll és az egymás utáni egyenes szakaszok meredeksége (**b** tényező) egyre nő.

A vizsgált 3 kútnál (A-225, A-710, A-862) a kiszorítási függvény differenciálhányadosa csak *egy egyenes* jelleget mutat kezdettől végig, mert a differenciálhányados közel állandó. Csak *egy egyenes* jelleget mutató kiszorítási függvény azt mutatja, hogy a vizsgált termelési idő alatt a kútkörzet közel homogén felépítésű, a termelés kezdetétől minden része a kútkörzetnek „betermel” az adott kútba, a vízáttörés a teljes nyitott rétegben közel azonos időben történt.

A-862.-s kút termelési görbájéből (7. ábra), ill. a kiszorítási egyenletéből (8. ábra) egyértelműen kitűnik, hogy a termelésének kezdetén a kútba megnyitott rétegsorban a víz már áttört. A fent leírtaknak megfelelően meghatároztuk a kiszorítási egyenletek legvalószínűbb paramétereit (**a**, **b**), valamint a paraméterek korrelációs együtthatóinak négyzetét (**R**²) az eredményeket a 2. táblázatban mutatjuk be.

2.2 Az áramlási egyenlet meghatározása

A vízkiszorítással művel kútkörzetek kútjai közel állandó depresszióval (Δp_{wf} =állandó) termelnek, ennek megfelelően az áramlási egyenletet (8) alakban kell használni. A vizsgált 3 kútra rendre felrajzoltuk a $W_i=f(t)$ áramlási egyenleteket log-log koordináta rendszerben (10-12. ábrák).

$$\ln W_i = \ln a_1 + b_1 \ln t \quad (16)$$

egy lineáris függvénnyel leírhatók voltak a kutakba beáramlott kiszorító víz kumulatív térfogat-idő kapcsolatai. A legvalószínűbb a_1 és b_1 paramétereket és a korrelációs együttható négyzeteit (R^2) szintén a 2. táblázatban találhatók.

1. táblázat. Magyarországi olajtermelő kutak-, kútkörzetek adatai

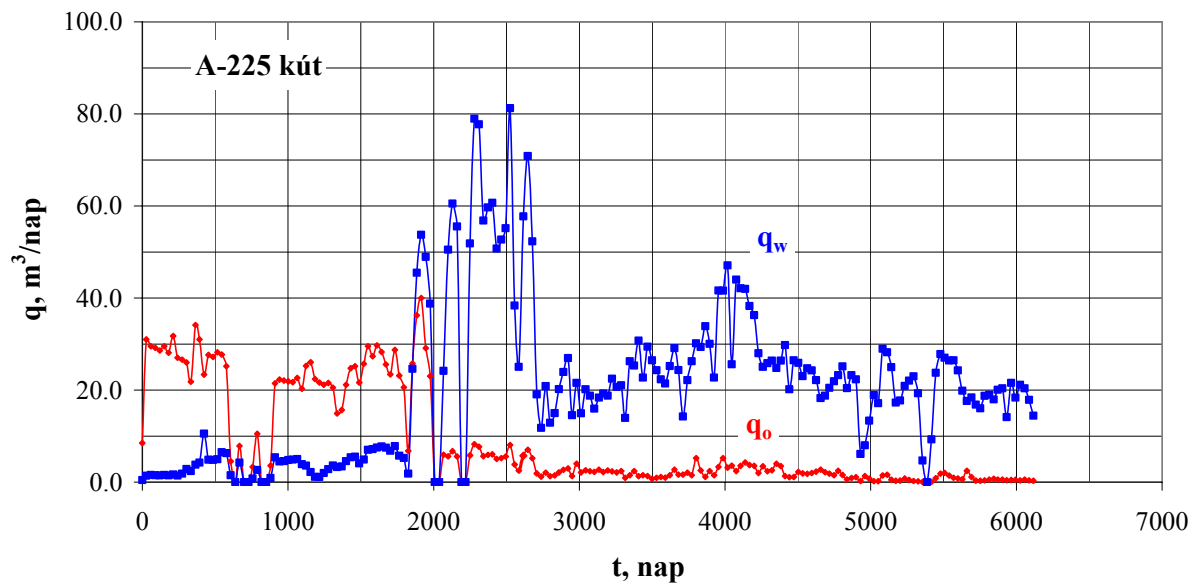
Paraméter	Mértékegység	Kút száma		
		A-225.	A-710.	A-862.
t_i termelési idő	days	6210	8797	4932
$N_p(t)$, kumulatív olajtermelés	m ³	52588	64811	34096
V_p	m ³	396972	534385	883573
ϕ	tört	0.26	0.27	0.25

B_{oi}	-	1.398	1.398	1.398
N	m^3	198770	267661	347528
$E_{Rw}(t)$	tört	0.2645	0.2421	0.0981
S_{wi}	tört	0.30	0.30	0.45
k	mD	780	90	487
μ_o	mPa s	0.34	0.34	0.33
μ_w	mPa s	0.50	0.50	0.50
B_o	-	1.3703	1.3682	1.3786
B_w	-	1.000	1.000	1.000
h	m	15	7	18
r_e	m	180	300	250
Δp_{wf}	bar	6.23	18.30	4.88
$W_i(t)/V_p$	-	0.4872	0.6548	0.1977
$f_w(t)$	tört	0.9478	0.9594	0.9339

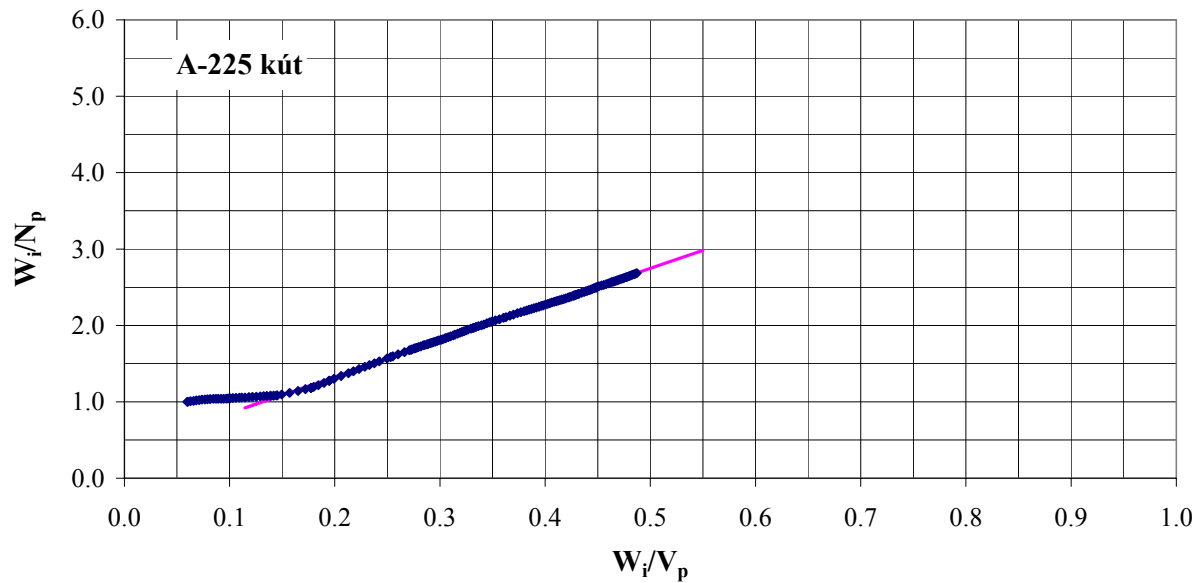
2.táblázat Számított paraméterek

Kút száma	A-225.	A-710.	A-862
Paraméterek	Kiszorítási egyenlet		
a	0.376537	0.618568	0.862301
b	4.740397	5.015508	13.90425
R^2	0.9991	0.9990	0.9954
	Aramlási egyenlet		
a_1	2.04E-08	2.67E-07	3.45E-04
b_1	1.520634	1.361751	1.009797

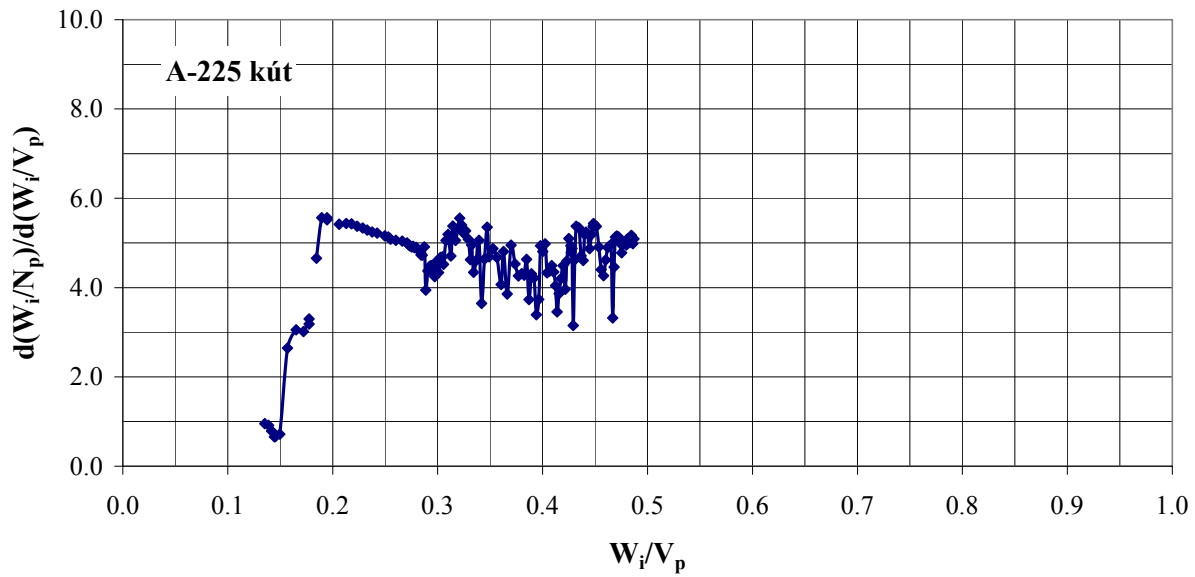
R^2	0.9939	0.9966	0.9913
Számított paraméterek			
ΔS_{wmax}	0.2110	0.1994	0.0719
S_{wmax}	0.5110	0.4994	0.5219
$E_{Rw\ max}$	0.3229	0.3001	0.1342



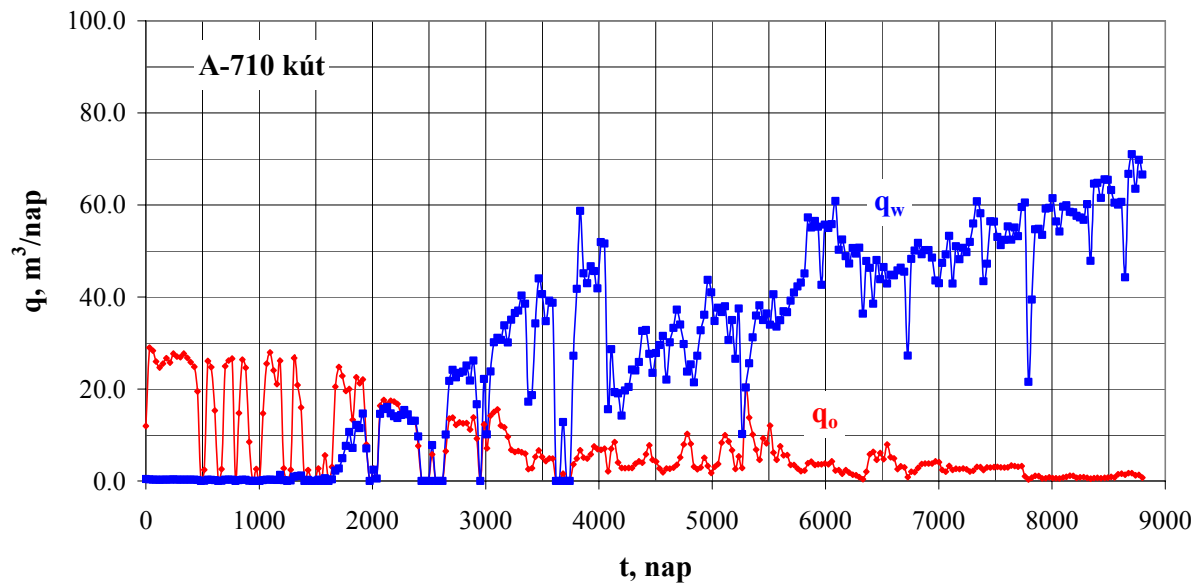
1. ábra



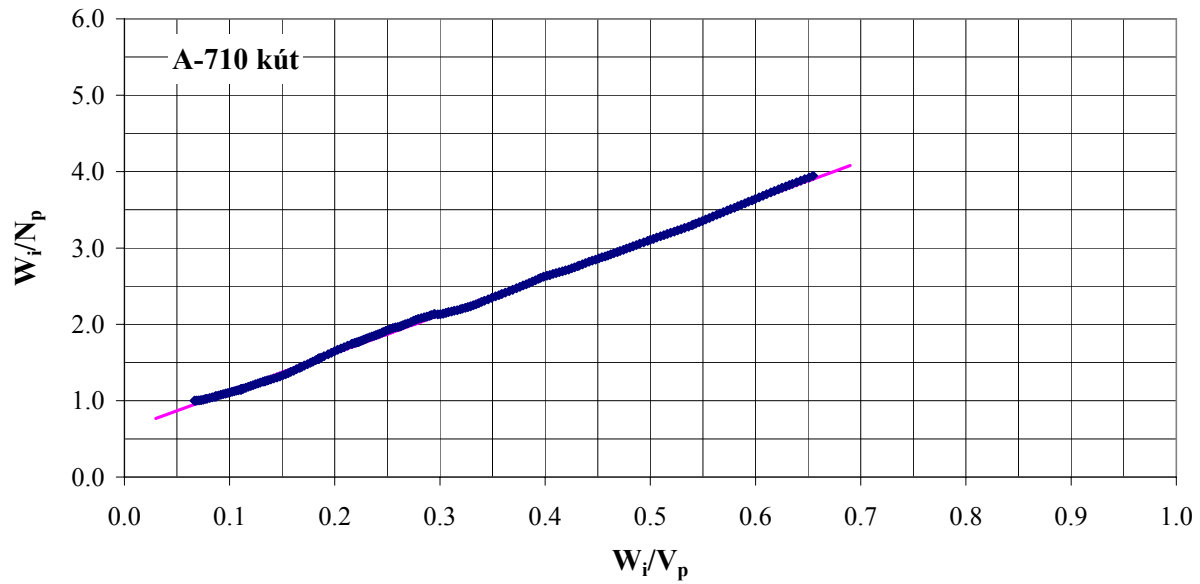
2. ábra



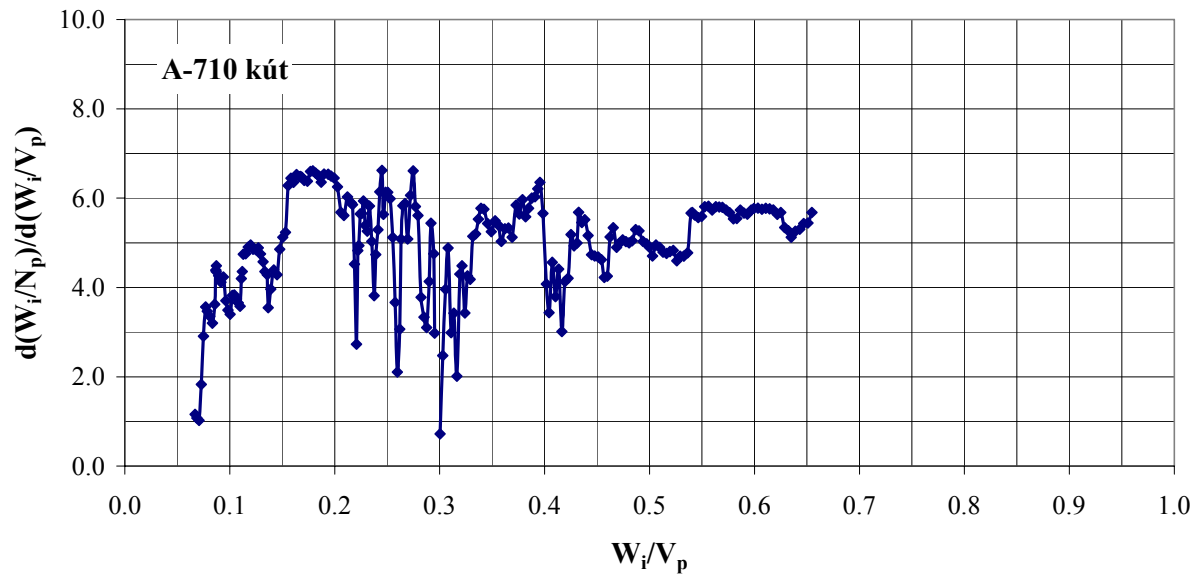
3. ábra



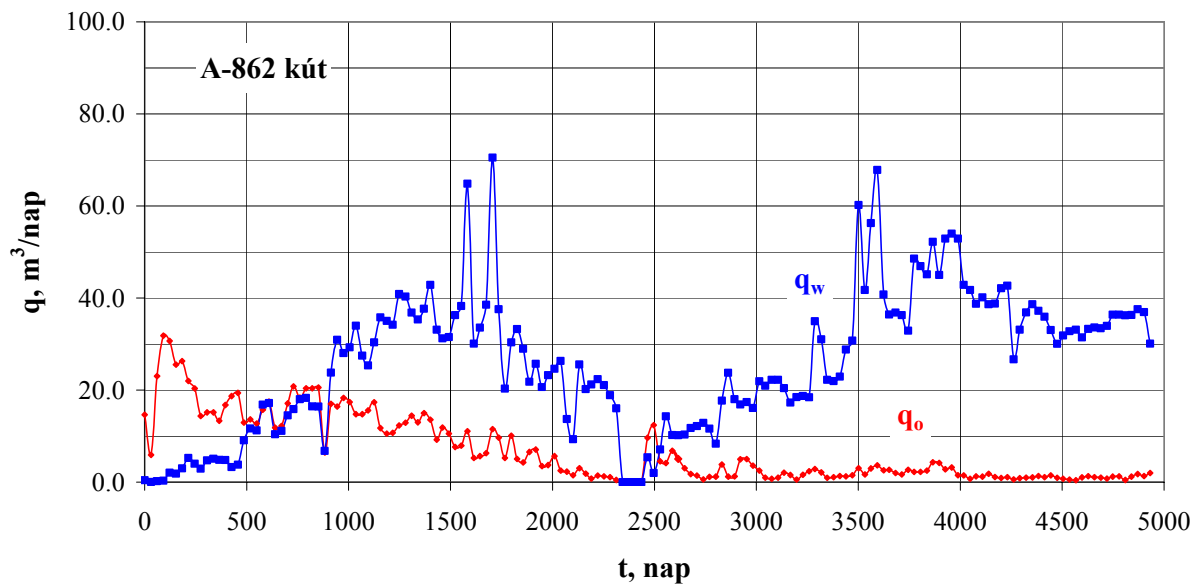
4. ábra



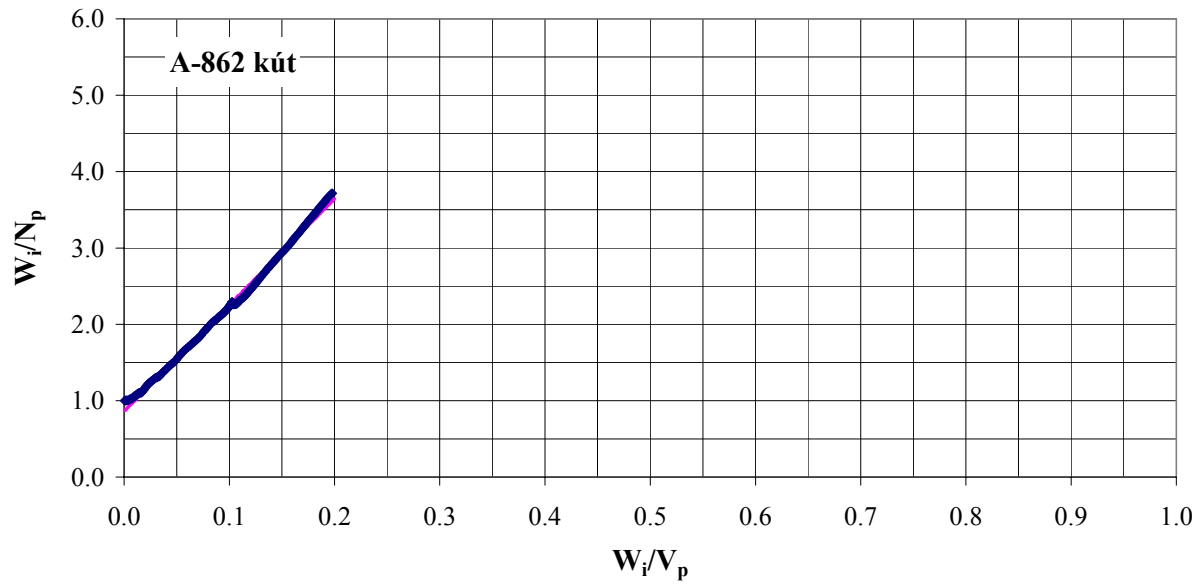
5. ábra



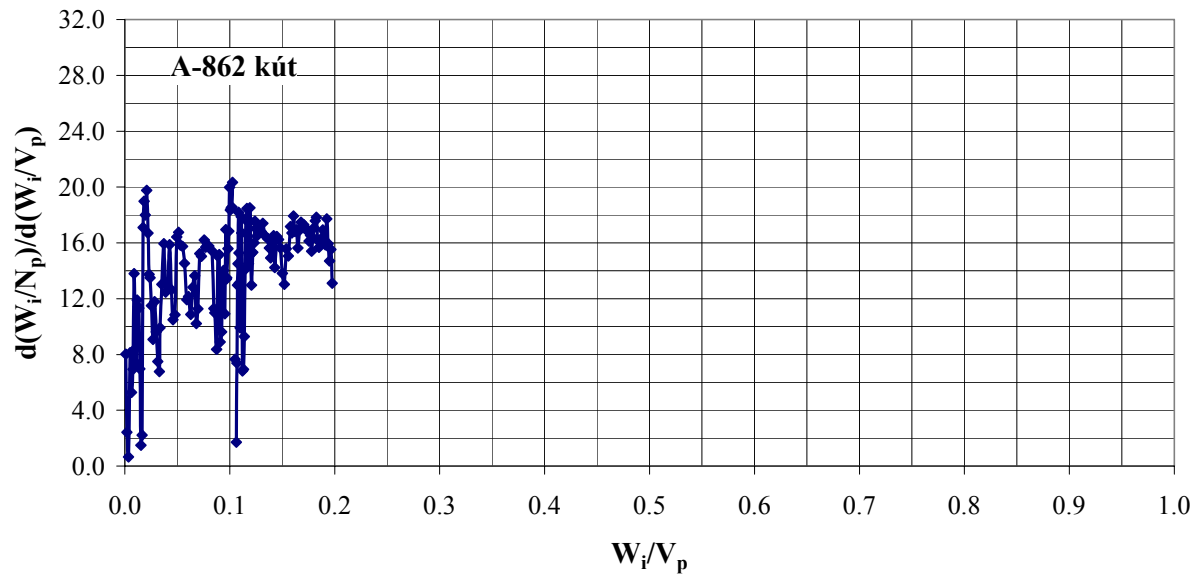
6. ábra



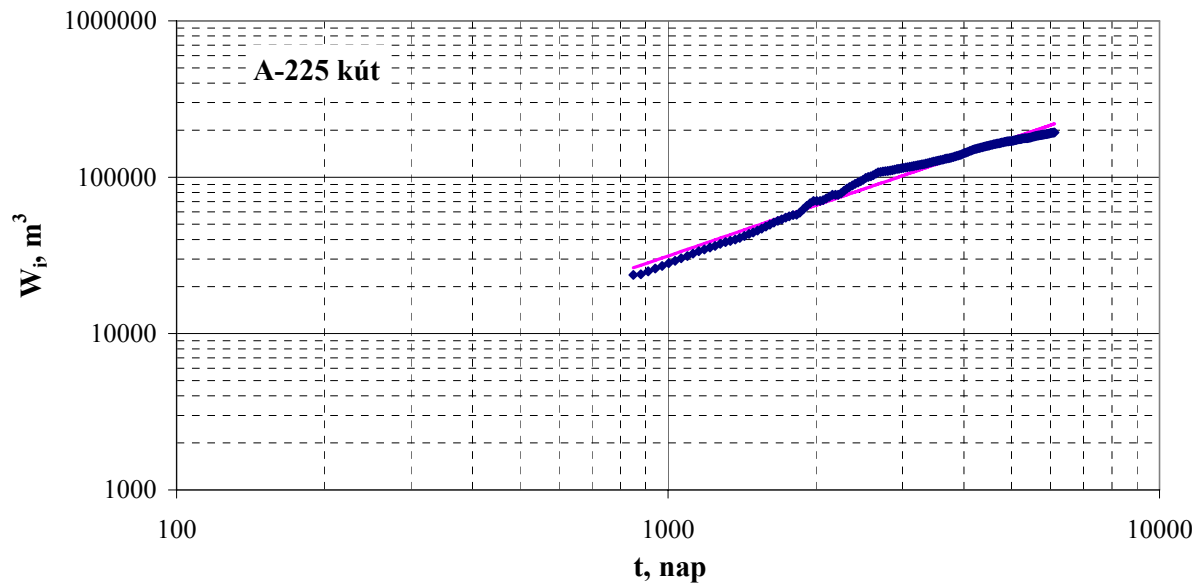
7. ábra



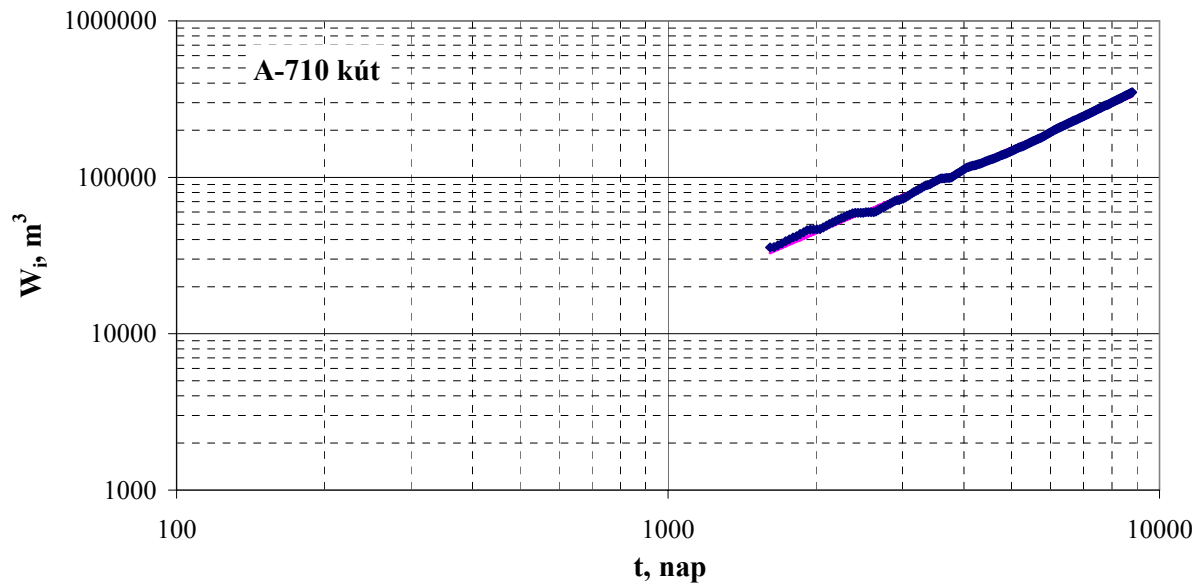
8. ábra



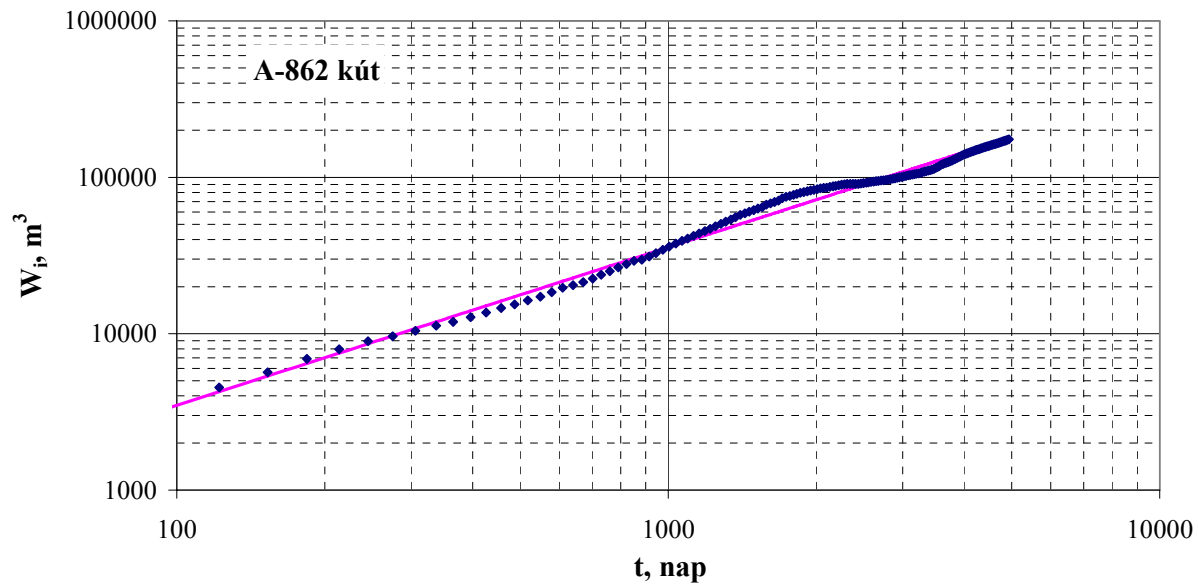
9. ábra



10. ábra



11. ábra



12. ábra

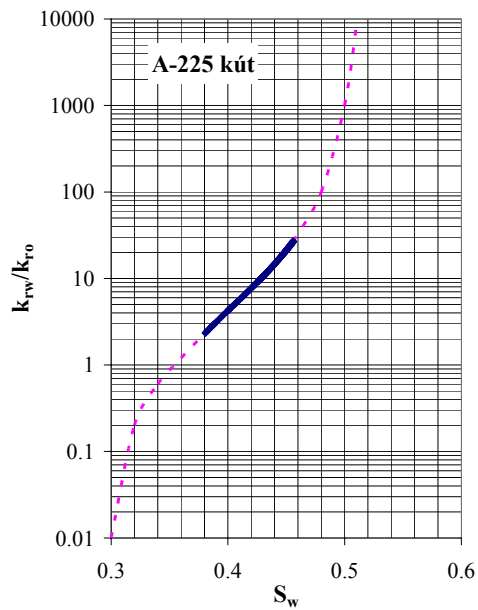
2.3 Víz/olaj relatív permeabilitás arány- és relatív permeabilitás függvén számítása

2.3.1 Relatív permeabilitás arány görbék

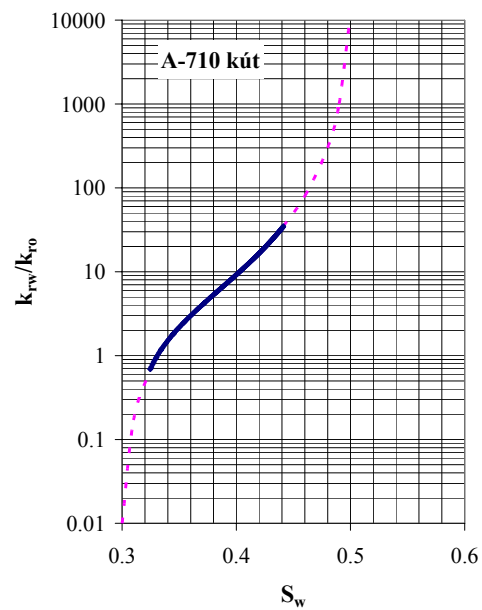
Az előző pontban meghatározott kiszorítási egyenlet (egyenletek) **a** és **b** paraméterének ismeretében a (6), (9) és (12) egyenletekkel számítható a víz/olaj relatív permeabilitás arány függvénye (13-15. ábra). A relatív permeabilitás-arány görbék a megadott S_{wi} (1. táblázat) tapadó-víztelítettségénél, ill. a kiszorítási egyenlet **b** tényezőjéből számított maximális víztelítettség-növekmény és az S_{wi} összegével azonos elérhető maximális víztelítettségénél (S_{wmax}) húzott függőlegeshez asszimtotikusan tartó görbék.

2.3.2 Relatív permeabilitás görbék

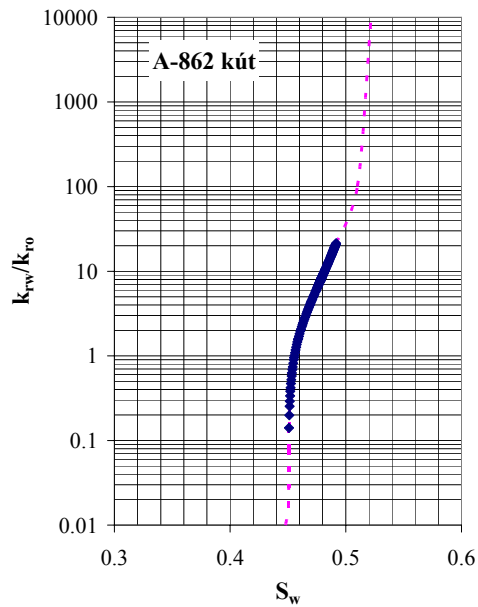
A víz/olaj relatív permeabilitás függvények (görbék) számításához az (5)-(8) és (11)-(12) egyenleteket használjuk fel a 2. táblázatba foglalt a , b , a_1 és b_1 paraméterek mellett. A számított függvényeket a 16.-18. ábrák mutatják.



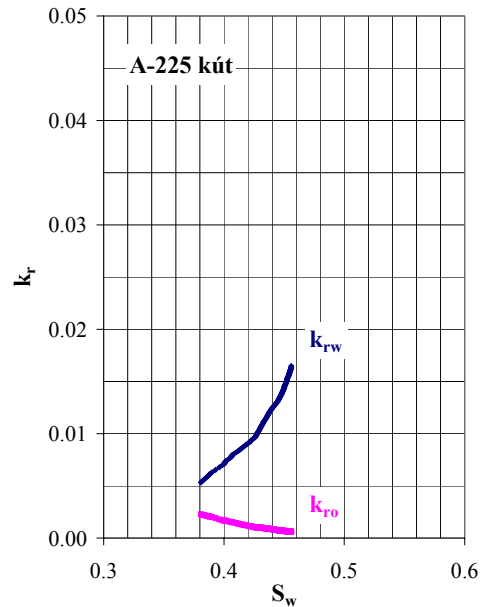
13. ábra



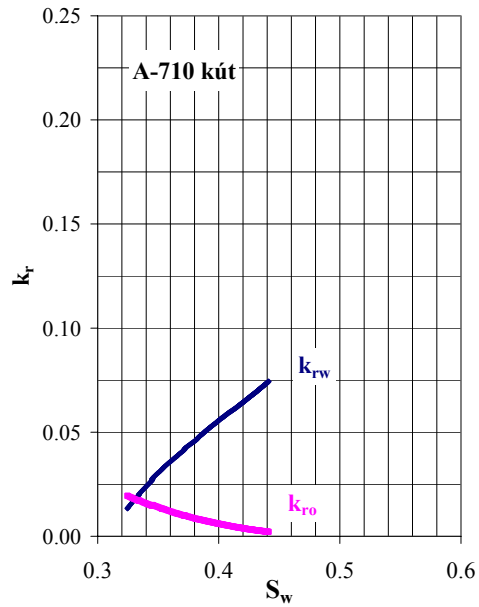
14. ábra



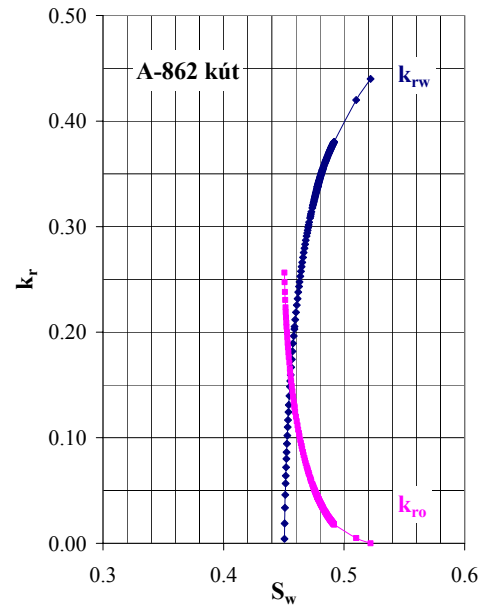
15. ábra



16. ábra



17. ábra



18. ábra

Összefoglalás

Az [15, 16, 17, 18] közleményekben leírt összefüggések lehetőséget teremtettek arra, hogy a vízkiszorításos művelésű olajtelepek kútkörzeteinek működését diagnosztizáljuk egy viszonylag egyszerűen használható eljárással, amely a már ismert módszereknél pontosabban és széleskörűben szolgáltat adatokat a kútkörzet állapotáról. A bemutatott kutak diagnosztizálásának eredményeként megállapítható, hogy

- a kiszorítási egyenlet, egyenletek alapján a kútkörzet homogenitására is lényeges információ kapható: közel homogén a kútkörzet az A-225, A-710 és az A-862 kutaknál,
- a vízkiszorítással elérhető maximális víztelítettség $S_{wmax}=0.50-0.52$ (minimális olajtelítettség = maradék olajtelítettség), ami mind a négy kútkörzet esetében kicsi, de reális értékű,
- a kútkörzetekből vízkiszorítással elérhető maximális kihozatali tényező $E_{Rw\ max}= 0.30 - 0.33$, de az A-862 kútkörzetben csak **0.13**, ami részben annak a következménye, hogy itt csak $W_i=0.2\ V_p$, azaz a kútkörzet pórusterfogatának csak 20% hányada a beáramlott kiszorító víztérfogat,

- a kútkörzet meghatározott víz/olaj relatív permeabilitás-arány, és a relatív permeabilitás függvényei (görbéi) telep állapoton az egész kútkörzetben radiális áramlási rendszerűnek vett kétfázisú áramlásra vonatkoznak és ez a tény a görbék lefutásából is látható,
- a kútkörzetekbe eddig beáramlott kumulatív víztérfogat egyik esetben sem éri el az egy pórustérfogatot, az A-225. és A-710 kutak esetében (**0.5-0.7 V_p**), a A-862 kútnál pedig csak **0.2 V_p** érték.

A diagnosztika eredményeként lehetőség van az adott kútkörzet további működésébe beavatkozni, illetve a tervezett IOR művelési módhoz messze részletesebb adatokat szolgáltatni (olajtelítettség, a kútkörzet még meglévő olajkészlete, a kútkörzet inhomogenitásának mértéke, a relatív permeabilitás függvények jellege, az olaj és víz fázis permeabilitásának nagyságrendjei).

Jelölések

a, b, a_1, b_1, a_2, b_2	- állandók
B_o, B_w	- olaj és víz teleptérfogat tényezője, tört
f	- fluidum hányad, tört
h	- rétegvastagság, m
k	- áteresztőképesség, μm^2
N	- kezdeti olajkészlet, m^3
N_p	- kumulatív olajtermelés, m^3
p	- nyomás, bar
Δp	- depresszió, bar
q	- kúthozam, m^3/d
t	- idő, sec vagy d
S_w	- víztelítettség, tört
V_p	- pórustérfogat, m^3
W_i	- kumulatív kiszorító víztérfogat, m^3
W_p	- kumulatív termelt víztérfogat, m^3
μ	- viszkozitás, Pa s

Indexek

i	- besajtott,
o	- olaj
r	- relatív
w	- víz

Irodalom

1. Stiles, W. E.: Use of permeability distribution in water-flood calculation. Trans. AIME, 1949, Vol. 186, pp. 9-13.
2. Welge, H. J.: Simplified method for computing oil recovery by gas or water drive. Trans. AIME 1952. 91.
3. Owens, W. W., Parish, D.R., Lamoreaux, W. E.: A comparison of field k_g/k_o characteristics and laboratory k_g/k_o test results measured by simplified method. Trans. AIME 1956. 275.
4. Craft, B. C., Hawkins, M. F.: Applied petroleum reservoir engineering. 1959. Prentice-Hall. 355.

5. Guerrero, E. T., Stewart, F.M.: Practical reservoir engineering. Oil and Gas Journal 1960. 22. 98.
6. Craig, F. F.: The reservoir engineering aspects of waterflooding. Monograph Series, SPE, Richardson, TX 1971. Vol. 3. pp. 112-124.
7. JPT Forum: A method for extrapolation of cut vs recovery curves. JPT 1978. February pp.203-204.
8. Ershaghi, I., Abdassah,D.: A prediction technique for immiscible processes using field performance data. JPT. April 1984. pp.665-670.
9. Hirasaki, G. J.: Sensitivity coefficients for history matching oil displacement processes. SPE Journal. Febr. 39-49 1975.
10. Serra, K. V., Peres, A. M. M., Reynolds, A.C.: Well-test analysis for solution-gas-drive reservoirs: Part 1.-Determination of relative and absolute permeabilities. SPE Formation Evaluation. June 124-132 1990.
11. Serra, K. V., Peres, A. M. M., Reynolds, A.C.: Well-test analysis for solution-gas-drive reservoirs: Part 2.- Buildup analysis. SPE Formation Evaluation. June 133-140 1990.
12. Serra, K. V., Peres, A. M. M., Reynolds, A.C.: Well-test analysis for solution-gas-drive reservoirs: Part 3.- A unified treatment of the pressure-squared method. SPE Formation Evaluation. June 141-150 1990.
13. Thakur, G.C.: Waterflooding surveillance techniques-A reservoir management approach. JPT October 1991, pp.1180-1188.

14. Terrado, M., Yudono, S., Thakur, G.: Water flooding surveillance and monitoring: Putting principles into practice. SPE Reservoir Evaluation et Engineering October 2007. pp.552-562.
15. Bodi, T., Toth, J., Szucs, P., Civan, F.: Interpretation of displacement data obtained from unsteady-state radial fluid flow systems. Proc. 13th European Symp. on Improved Oil Recovery, Budapest, Hungary, 25-27 April 2005, (D07)
16. Toth, J., Bodi, T., Szucs, P., Civan, F.: Determining Relative Permeability from Unsteady-State Radial Fluid Displacements. SPE 94994. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, 9-12 October 2005.
17. Bódi T., Tóth J., Szűcs P., Civan F.: Fluidum csere radiális áramlási rendszerben. OMBKE XXVI. Nemzetközi Olaj- és Gázipari Konferencia, Kiállítás, 2005. 09. 21-24. Tihany. (CD-R01)
18. Toth J., Bodi T., Szucs P., Civan F.: Near-well bore field water-oil relative permeability inferred from production with increasing water-cut. SPE 102312. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, 24-27 September 2006.